

This article is about variationally differential approach to the calculation of foundation plats (plane deformation) on physically nonlinear laminated ground foundation with poor layer and biogenic inclusions. The model of finite thickness elastic layer with secant modulus varying under nonlinear law is represented. Nonlinear statement of boundary-value problem is realized by the method of elastic solution in the field of small plastoelastic deformation. Numerical calculation results approbation is carried out for laminated foundation with the help of MATHEMATICA 6.0.

УДК 691.327:66.04

Бибик М.С.

## ТЕМПЕРАТУРНЫЙ МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССА ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ В ЯМНЫХ КАМЕРАХ ПОЛИГОННОГО ТИПА И МОДЕРНИЗАЦИЯ КАМЕР С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОПOTЕРЬ

**Введение.** Известно, что производственная деятельность предприятий строительной индустрии всегда сопряжена с достаточно высоким уровнем энергопотребления. В частности, по данным [1], в доперестроечные годы в СССР только на заводах сборного железобетона СССР на технологические нужды, отопление, горячее водоснабжение и вентиляцию зданий расходовалось более 12млн тонн условного топлива. При этом, на долю тепловой энергии приходилось почти 90%, а на долю электрической – немногим более 10%. Из общей потребности тепловой энергии около 70% расходовалось на тепловую обработку изделий, нагрев заполнителей, воды затворения и смазки для форм, т.е. на технологию производства [1]. По данным Л.А. Малининой [2], абсолютные затраты условного топлива на различные технологические передельные заводского производства изделий были сравнительно невелики и составляли (за исключением тепловой обработки) 18,5 кг условного топлива на 1м<sup>3</sup> изделий. На тепловую же обработку затрачивалось 30-50 кг, т.е. в 2-2,5 раза больше чем на все остальные передельные производства (таблица 1) [2].

Приведенные данные свидетельствуют о том, что снижение энергопотребления при тепловой обработке изделий на основе применения эффективных химических добавок, оптимизации режимов тепловой обработки, применения мягких, термосных и частично-термосных режимов и сокращения теплопотерь за счет утепления ограждающих конструкций пропарочных камер и паропроводов является одним из основных направлений энергосбережения на предприятиях стройиндустрии.

**Постановка задачи исследований.** Специфической особенностью ОАО «Завод сборного железобетона №1» является то, что изготовление основных объемов продукции осуществляется на двух полигонах под открытым небом, а термообработка железобетонных изделий и конструкций осуществляется в ямных пропарочных на этих полигонах. За время многолетней эксплуатации камер в подобных условиях существенно снизились теплозащитные свойства их ограждающих конструкций, что привело к увеличению теплопотерь через ограждающие конструкции камер, в связи с чем даже в условиях оптимальных режимов тепловлажностной обработки изделий и конструкций и применения эффективных химических добавок в отдельных пропарочных камерах не обеспечивалось достижение требуемой прочности бетона после термообработки. Это вызвало необходимость оперативного обследования и оценки реальных температурных режимов в камерах, на основе чего принималось решение о необходимости проведения работ по утеплению камер. При этом для утепления стенок камер взамен отслужившей свой срок минераловатной теплоизоляции предусматривалось устройство утепления в виде кладки из арболитовых пустотных мелкоштучных блоков.

**Методика исследования и средства измерения.** Исследование и оценка реальных температурных режимов в ямных пропарочных камерах на полигонах завода и температурных режимов в камерах после их утепления были выполнены с использованием измерителей-регистраторов DS 1921 системы температурного мониторинга «Термохрон» (рис. 1).

**Бибик Михаил Сергеевич**, кандидат технических наук, заслуженный работник промышленности Республики Беларусь, директор ОАО «Завода сборного железобетона №1».

а)



б)



**Рис. 1.** Контрольно-измерительная аппаратура системы температурного мониторинга «Термохрон»: а – адаптер АС-Термохрон с установленным измерителем - регистратором температуры; б – измерители-регистраторы температуры

Термохрон или «Thermochron i Button™» (фирменное обозначение - DS 1921) представляет собой устройство-регистратор, предназначенное для температурного мониторинга. Подобные регистраторы выпускаются с июня 1999 г. американской компанией Dallas Semiconductor, входящей в настоящее время в состав корпорации Maxim Integrated Products [3]. Они обеспечивают регистрацию температуры через определенные, заранее заданные, промежутки времени и сохранение полученной информации в собственной энергонезависимой памяти. По своим размерам и внешнему виду термохрон напоминает дисковую батарейку или «таблетку» небольших разме-

ров, благодаря чему его можно легко разместить или прикрепить к оснастке пропариваемого изделия в труднодоступных местах пропарочной камеры. Этот измеритель-регистратор является полностью автономным экономичным датчиком, питание всех узлов которого обеспечивается миниатюрной литиевой батареей, емкости которой по гарантии фирмы-производителя хватает для непрерывной эксплуатации «таблетки» DS 1921 в течение 8-9 лет. Наряду с батареей, в корпусе регистратора имеются точные часы-календарь, с помощью которых для каждого измеренного значения температуры фиксируется время ее замера в соответствии с заданной программой, в связи с чем информацию, накопленную этими регистраторами, невозможно исказить, и пользователь видит подлинную картину изменения температуры в пропарочной камере.

Таблица 1. Усредненные затраты энергии на заводские переделы производства

Заводской передел	Расход условного топлива на 1м³ бетона, кг
На перемешивание	0,14
На формование	0,255
На складах цемента	0,13
На складах заполнителя	0,139
На транспортные операции	2,15
На вспомогательные службы (отопление, горячее водоснабжение и т.п.)	7,18
Прочие расходы (смазка, укладка арматуры и т.п.)	8,50
Всего:	18,50
Тепловлажностная обработка:	
- теоретически	25-30
- фактически	30-50

Процесс установки и снятия температурных датчиков-регистраторов DS 1921 в пропарочных камерах или на пропариваемых железобетонных изделиях контролировался работниками заводской лаборатории и технологического отдела. Их крепление в пропарочных камерах осуществлялось с использованием пластиковых брелков (брелок с «таблеткой» DS 1921 подвешивался за выступы внутри камеры или крепился к элементам оснастки).

Перед установкой датчиков DS 1921 в пропарочной камере осуществлялось их программирование. Для этого датчик устанавливали в присоединенный к компьютеру адаптер (рис. 1) и с использованием программы DS 1921 задавали основные параметры температурного мониторинга (момент начала замеров и временной интервал между ними), после чего запрограммированные датчики устанавливали в

пропарочных камерах. По окончании процесса тепловлажностной обработки их извлекали из пропарочных камер и, поочередно устанавливая в адаптер, с помощью компьютера считывали информацию.

**Результаты исследования режимов термообработки в пропарочных камерах с применением измерителей-регистраторов DS 1921.** В процессе исследований был проведен температурный мониторинг и выполнены оценка и анализ фактических температурных режимов термообработки изделий, причем в первую очередь были обследованы камеры, в которых осуществляется изготовление и термообработка свай – изделий, для которых должна быть обеспечена после термообработки 100%-ная отпускная прочность, и которые составляют значительную долю от общего объема выпускаемой продукции. Температурный мониторинг был выполнен как для условий 0,5 и 1 оборота камер в сутки, так и для условий термосного выдерживания изделий в течение нескольких суток в выходные и праздничные дни при различной температуре наружного воздуха в диапазоне 23-25°C...8-11°C днем и 16°C...3-4°C ночью, соответственно. Датчики DS 1921 крепили к формам пропариваемых изделий по три датчика в каждой камере и располагали по высоте на уровне верха формы, а в плане – по продольной оси камеры: один по центру и два по краям камеры, на расстоянии 0,5м от ее краев. Пропаривание изделий осуществляли в ручном режиме: в 22:00 включали подачу пара, в 5:00 подачу пара прекращали. Результаты температурного мониторинга процесса тепловлажностной обработки по некоторым камерам до их утепления представлены на рис. 3-9 и в таблицах 2, 3.

Анализ приведенных данных позволяет, прежде всего, отметить одно, весьма важное обстоятельство. Благодаря тому, что графики на рис.3-9 построены по данным датчиков DS 1921, регистрирующих фактическую температуру в камерах через заданные интервалы времени, они зеркально отражают изменение температуры в течение всего цикла тепловлажностной обработки, характеризуют ее качество и фиксируют все отклонения, допущенные в процессе ручного режима пропаривания.

На первом этапе исследований был выполнен температурный мониторинг неутепленных пропарочных камер, результаты которого представлены на рис. 3; 4; 7 (кривая 1); 8 (кривая 1) и в таблицах 2, 3. На рис. 3 дано сравнение температурных режимов в неутепленной пропарочной камере № 2 при двух значениях температуры наружного воздуха ( $t_{нар.возд.}$ ) – 14-16/11-13°C и 23-25/16°C (над чертой - дневная, под чертой – ночная температура). Из данного графика видно, что при более высокой температуре наружного воздуха закономерно более интенсивно происходил подъем температуры в камере и более плавным было ее снижение после отключения подачи пара. В частности, при  $t_{нар.возд.}$  = 23-25/16°C температура в камере за 1 час повысилась с 38 до 70°C, т.е. на 32°C, за 2 часа – с 38 до 81°C, т.е. на 43°C, а при  $t_{нар.возд.}$  = 14-16/11-13°C

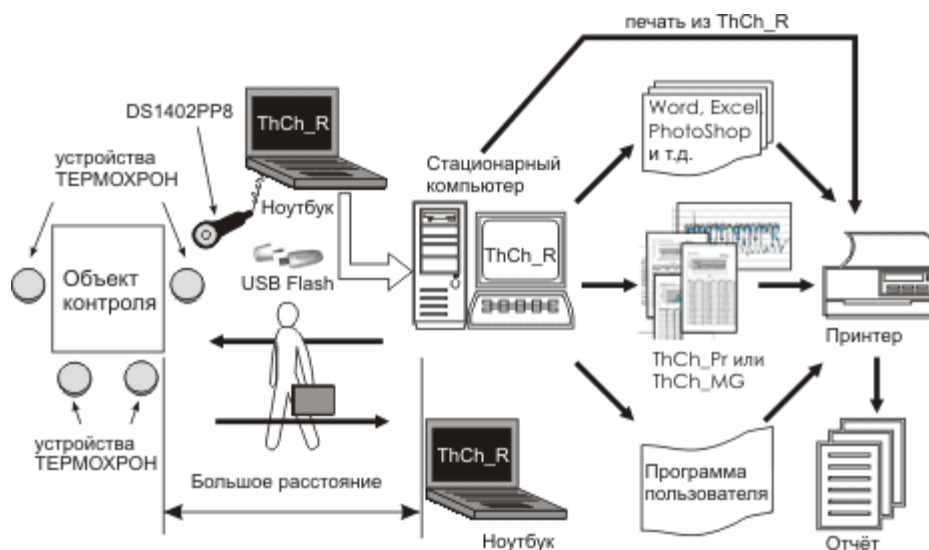
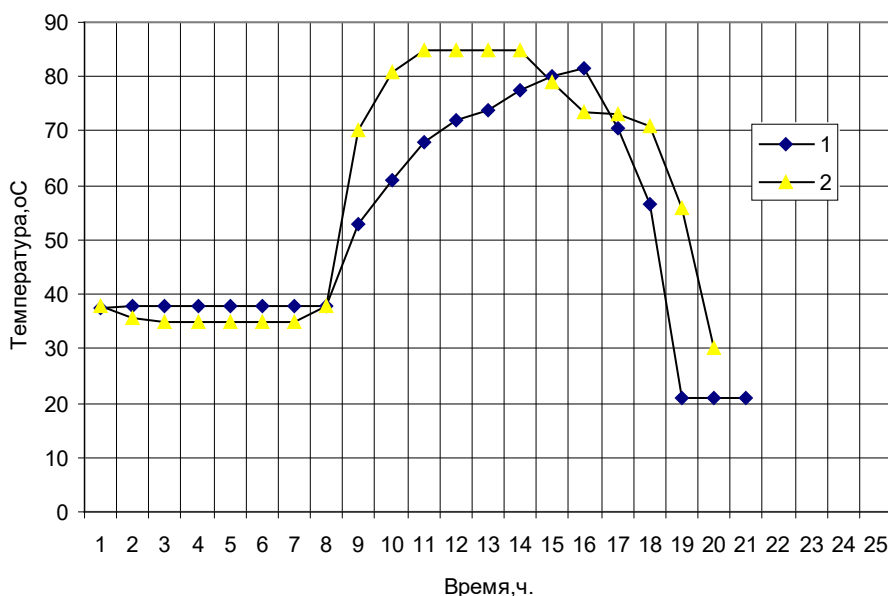


Рис. 2. Универсальная система температурного мониторинга с регистрацией и выдачей данных на стационарный компьютер или ноутбук

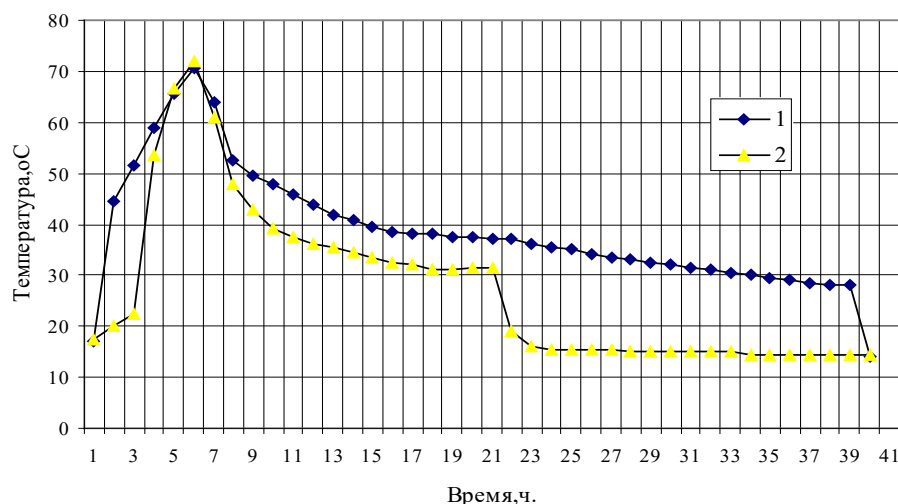
**Таблица 2.** Сравнительные данные по интенсивности снижения температуры в неутепленных и утепленных пропарочных камерах (по данным температурного мониторинга)

Характеристики температурного режима	Номера камер и наличие утепления								
	№1 (неутепл.)	№7 (неутепл.)	№10 (неутепл.)	№8		№11		№4 (утепл.)	
				до	после	до	после		
				утепления		утепления			
Дата проведения мониторинга	14-15.01. 2008г.	9-11.10. 2007г.	9-11.10. 2007г.	30.07-1.08 2007г.	13-15.05. 2008г.	30.07-1.08 2007г.	13-15.05. 2008г.	13-15.08. 2007г.	
Температура наружного воздуха (тн.в.), оС	0- (+2) (- 4)	8-11 3-4	8-11 3-4	17-19 13	10-12 1	17-19 13	10-12 1	18-20 10	
Температура в камере в момент включения подачи пара(t <sub>0</sub> ), оС	14	17	22,5	28	21,5	25	23	35	
Максимальная температура в камере в конце периода ее подъема(t <sub>макс.</sub> ),оС	85	70,5	72	68	83	69,5	72,5	85	
Температура в камере в момент открывания крышки камеры, оС	50	28	31,5	29,5	69,5	26	35	41	
Время от начала охлаждения до открывания крышки камеры, ч	5	33	15	7	6	26	25	26	
Снижение температуры в камере после прекращения подачи пара: над чертой- температура t <sub>i</sub> , оС, под чертой- величина ее снижения (t <sub>макс.</sub> - t <sub>i</sub> ) / t <sub>макс.</sub> , %, через:	1ч.	71/16,5	56,5/19,2	61/15,3	54/20,6	75,5/9	49/29,5	68/6,2	78/8,2
	2ч.	62,5/26,5	52,5/25,5	48/33,3	50,5/25,7	72,5/12,7	42,5/38,8	56,5/22,1	71,5/15,9
	3ч.	57/32,9	49,5/29,8	43/40,3	47,5/30,1	71,5/13,9	40/42,4	53,5/26,2	67/21,2
	4ч.	52,5/38,2	48/31,9	39/45,8	45,5/33,1	70,5/15,1	38,5/44,6	51/29,7	64/24,7
	5ч.	50/41,2*	46/34,8	37,5/47,9	43,5/36	70/15,7	37,5/46	49,5/31,7	62/27,1
	6ч.	-	44/37,6	36/50	42/38,2	69,5/16,3*	35,5/48,9	48/33,8	60,5/28,8
	7ч.	-	42/40,4	35,5/50,7	29,5/56,6*	-	35/49,6	47,5/34,5	59/30,6
	8ч.	-	41/41,8	34,5/52,1	-	-	34/51,1	47/35,2	58/31,8
	9ч.	-	39,5/44	33,5/53,5	-	-	33,5/51,8	47/35,2	57/32,9
	10ч.	-	38,5/45,4	32,5/54,9	-	-	33,5/51,8	46,5/35,9	56,5/33,5
Снижение температуры в камере после прекращения подачи пара: над чертой- температура t <sub>i</sub> ,оС, под чертой- величина ее снижения (t <sub>макс.</sub> - t <sub>i</sub> )/t <sub>макс.</sub> , %, через:	15ч.	-	37/47,5	31,5/56,3*	-	-	31,5/54,7	42/42,1	51/40
	16ч.	-	37/47,5	-	-	-	31/55,4	41,5/42,8	49,5/41,8
	17ч.	-	36/48,9	-	-	-	30,5/56,1	40,5/44,1	48/43,5
	18ч.	-	35,5/49,6	-	-	-	30/56,8	39,5/45,5	47/44,7
	19ч.	-	35/50,4	-	-	-	29,5/57,6	39/46,2	46,5/45,3
	25ч.	-	31,5/55,3	-	-	-	26,5/61,9	35/51,7*	41,5/51,2
	26ч.	-	31/56	-	-	-	26/62,6*	-	41/51,8*
	33ч.	-	28/60,3*	-	-	-	-	-	-
Относительная прочность бетона после тепловлажностной обработки, % от марочной	60	64,4	62,3	86	88	72	94,3	97,6	

\*) На момент открывания крышки камеры



**Рис. 3.** Температурный режим в неутепленной пропарочной камере №2 в процессе тепловлажностной обработки при различной температуре наружного воздуха  
 1 – t<sub>нар.возд.</sub> = 14-16°С (день) / 11-13°С (ночь);  
 2 – t<sub>нар.возд.</sub> = 23-25°С (день) / 16°С (ночь)



**Рис. 4.** Сравнение температурных режимов в неутепленных пропарочных камерах №№ 7 и 10 в процессе тепловлажностной обработки при одинаковой температуре наружного воздуха  $t_{нар.возд.} = 8-11^{\circ}\text{C}$  (день) /  $3-4^{\circ}\text{C}$  (ночь), 1 – камера № 7, 2 – камера № 10

**Таблица 3.** Сравнение температурных режимов в пропарочных камерах №№ 8, 11 до и после утепления

Характеристики температурного режима	Камера №8		Камера №11	
	до	после	до	после
	утепления		утепления	
Температура наружного воздуха в течение процесса термообработки и замеров температуры в камере, $^{\circ}\text{C}$ (дневная/ночная)	17-19 13	10-12 1	17-19 13	10-12 1
Температура в камере в момент включения подачи пара, $^{\circ}\text{C}$	28	21,5	25	23
Максимальная температура в камере в конце периода ее подъема на момент отключения пара, $^{\circ}\text{C}$	68	71,5	69,5	72,5
Прирост температуры в камере в период ее подъема по сравнению с начальной температурой в момент включения подачи пара, $^{\circ}\text{C}$ , через:				
1 час	4,5	16,5	16,5	14,5
2 часа	27	38,5	26	26,5
3 часа	39	47,5	30	30
4 часа	39	48,5	34	35
5 часов	39,5	49	35	40,5
Величина снижения температуры в камере в период охлаждения по сравнению с максимальной температурой в конце периода ее подъема, $^{\circ}\text{C}$ , через:				
1 час	14	7,5	20,5	4,5
2 часа	17,5	10,5	27	16
3 часа	20,5	11,5	29,5	19
4 часа	22,5	12,5	31	21,5
5 часов	24,5	13	32	23
Относительная прочность бетона после тепловлажностной обработки, % от марочной	86	88	72	94,3

– за 1 час – с 38 до  $53^{\circ}\text{C}$ , т.е. на  $15^{\circ}\text{C}$ , за 2 часа – с 38 до  $61^{\circ}\text{C}$ , т.е. на  $23^{\circ}\text{C}$ . В конце периода подъема температуры ее величина ( $t_{\text{макс.}}$ ) при  $t_{нар.возд.} = 23-25/16^{\circ}\text{C}$  была выше, чем при  $t_{нар.возд.} = 14-16/11-13^{\circ}\text{C}$  и составляла  $85^{\circ}\text{C}$  против  $81,5^{\circ}\text{C}$ . Из представленных данных также видно, что в процессе охлаждения после прекращения подачи пара снижение температуры в пропарочной камере при  $t_{нар.возд.} = 23-25/16^{\circ}\text{C}$  происходило менее интенсивно, чем при  $t_{нар.возд.} = 14-16/11-13^{\circ}\text{C}$ . В частности, через 2 часа после отключения пара температура в камере при  $t_{нар.возд.} = 23-25/16^{\circ}\text{C}$  снизилась с  $85$  до  $73,5^{\circ}\text{C}$  или на  $11,5^{\circ}\text{C}$  в то время, как при  $t_{нар.возд.} = 14-16/11-13^{\circ}\text{C}$  она снизилась с  $81,5$  до  $56,5^{\circ}\text{C}$  или на  $25^{\circ}\text{C}$ .

На рис. 4 дано сравнение температурных режимов в неутепленных пропарочных камерах №№ 7 и 10 при одинаковой температуре наружного воздуха  $t_{нар.возд.} = 8-11/3-4^{\circ}\text{C}$ . Из приведенных данных видно, что в камере № 10 по сравнению с камерой № 7 наблюдался более резкий подъем температуры и более интенсивное ее снижение после прекращения подачи пара. В частности, снижение температуры в исследуемых камерах составляло:

- через 1 час: в камере № 10 – с  $72$  до  $61^{\circ}\text{C}$  или на  $11^{\circ}\text{C}$ , в камере № 7 – с  $70,5$  до  $64^{\circ}\text{C}$  или на  $6,5^{\circ}\text{C}$ ;
- через 2 часа: в камере № 10 – с  $72$  до  $48^{\circ}\text{C}$  или на  $24^{\circ}\text{C}$ , в камере № 7 – с  $70,5$  до  $52,5^{\circ}\text{C}$  или на  $18^{\circ}\text{C}$ ;

- через 5 часов: в камере № 10 – с  $72$  до  $39^{\circ}\text{C}$  или на  $33^{\circ}\text{C}$ , в камере № 7 – с  $70,5$  до  $52,5$  или на  $18^{\circ}\text{C}$ .

Эти данные свидетельствуют о том, что теплозащитные свойства ограждающих конструкций камеры №10 ниже, а теплопотери выше по сравнению с камерой № 7.

Интенсивное снижение температуры в период охлаждения было зафиксировано также и в других неутепленных камерах, о чем наглядно свидетельствуют данные таблицы 2. В частности, через 1 час после прекращения подачи пара температура в камере № 1 снизилась по сравнению с  $t_{\text{макс}}$  в этой камере на  $14^{\circ}\text{C}$  или на  $16,5\%$ , в камере № 8 до ее утепления – на  $14^{\circ}\text{C}$  или на  $20,6\%$ , в камере № 11 до ее утепления – на  $20,5^{\circ}\text{C}$  или на  $29,5\%$ , а через 5 часов снижение температуры в этих камерах составило  $35^{\circ}\text{C}$  ( $41,2\%$ ),  $24,5^{\circ}\text{C}$  ( $36\%$ ) и  $32^{\circ}\text{C}$  ( $46\%$ ), соответственно. Очевидно, что этим в значительной степени обусловлены пониженные значения относительной прочности бетона после термообработки, составившие для камер №№ 1, 7, 10, соответственно,  $60, 64,4$  и  $62,3\%$  от марочной.

С целью снижения теплопотерь через ограждающие конструкции камер и повышения эффективности тепловлажностной обработки изделий на нескольких камерах было выполнено утепление стенок путем устройства утепляющего слоя кладки из арболитовых пустотных мелкоштучных блоков с последующей зашивкой стальным листом для защиты блоков от увлажнения, после чего был проведен мониторинг температурных режимов в этих камерах.

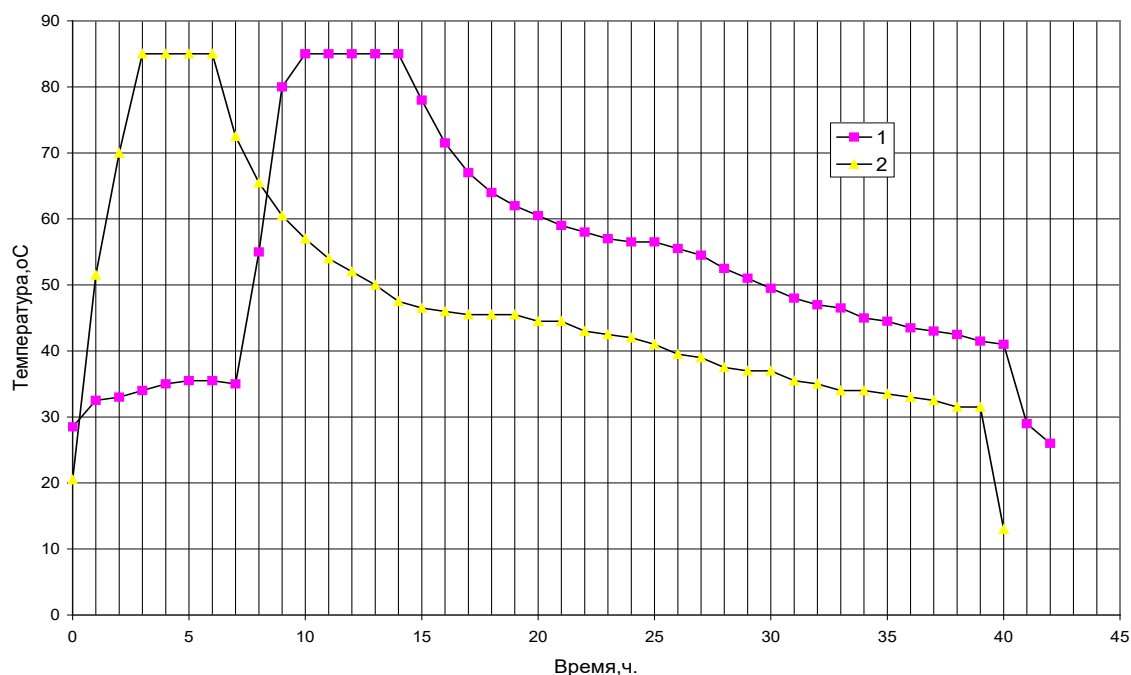


Рис. 5. Сравнение температурного режима тепловлажностной обработки в утепленной пропарочной камере №4 при различной температуре наружного воздуха

1 –  $t_{нар.возд.} = 18-20^{\circ}\text{C}/10^{\circ}\text{C}$ ; 2 –  $t_{нар.возд.} = 8-11^{\circ}\text{C}/3-4^{\circ}\text{C}$

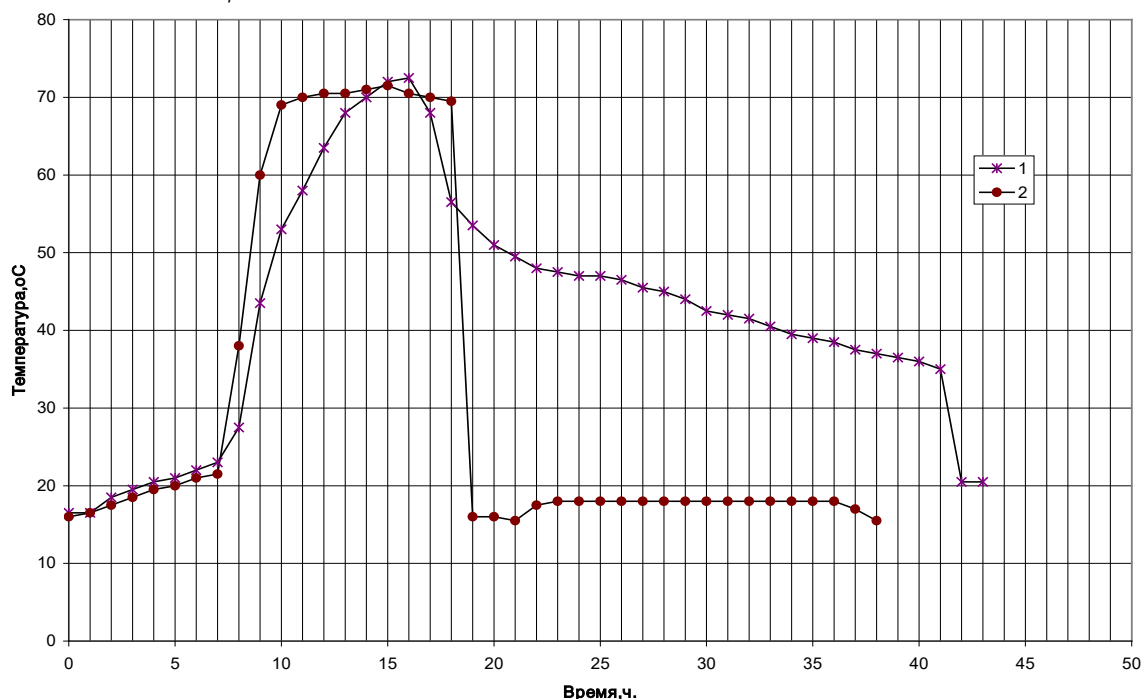


Рис. 6. Сравнение температурных режимов тепловлажностной обработки в утепленных пропарочных камерах №№ 11 и 8 при одинаковой температуре наружного воздуха  $t_{нар.возд.} = 10-20^{\circ}\text{C}/1^{\circ}\text{C}$

1 – камера №11; 2 – камера №8

На рис. 5-8 и в таблицах 2 и 3 представлены полученные данные и приведено их сравнение для некоторых камер до и после их утепления. На рис. 5 приведены сравнительные данные по изменению температуры в утепленной пропарочной камере № 4 при различной температуре наружного воздуха  $t_{нар.возд.}$  для режима термообработки, при котором после изотермического прогрева при  $t_{макс.} = 85^{\circ}\text{C}$  изделия подвергались термосному охлаждению (при  $t_{нар.возд.} = 18-20/10^{\circ}\text{C}$  – 26 часов, при  $t_{нар.возд.} = 8-11/3-4^{\circ}\text{C}$  – 33 часа). Из сравнения представленных данных видно, что, как и для

неутепленных камер, при более низкой температуре наружного воздуха снижение температуры в камере протекает интенсивнее. В частности, через 1 час после прекращения подачи пара при  $t_{нар.возд.} = 8-11/3-4^{\circ}\text{C}$  температура в камере снижалась на  $12,5^{\circ}\text{C}$ , а при  $t_{нар.возд.} = 18-20/10^{\circ}\text{C}$  – на  $7^{\circ}\text{C}$ , через 2 часа – на  $19,5$  и  $13,5^{\circ}\text{C}$  и через 5 часов – на  $28$  и  $21^{\circ}\text{C}$ , соответственно. К концу термосного охлаждения влияние температуры наружного воздуха проявилось более ощутимо: при  $t_{нар.возд.} = 18-20/10^{\circ}\text{C}$  и длительности термосного охлаждения в течение 26 часов температура в камере перед



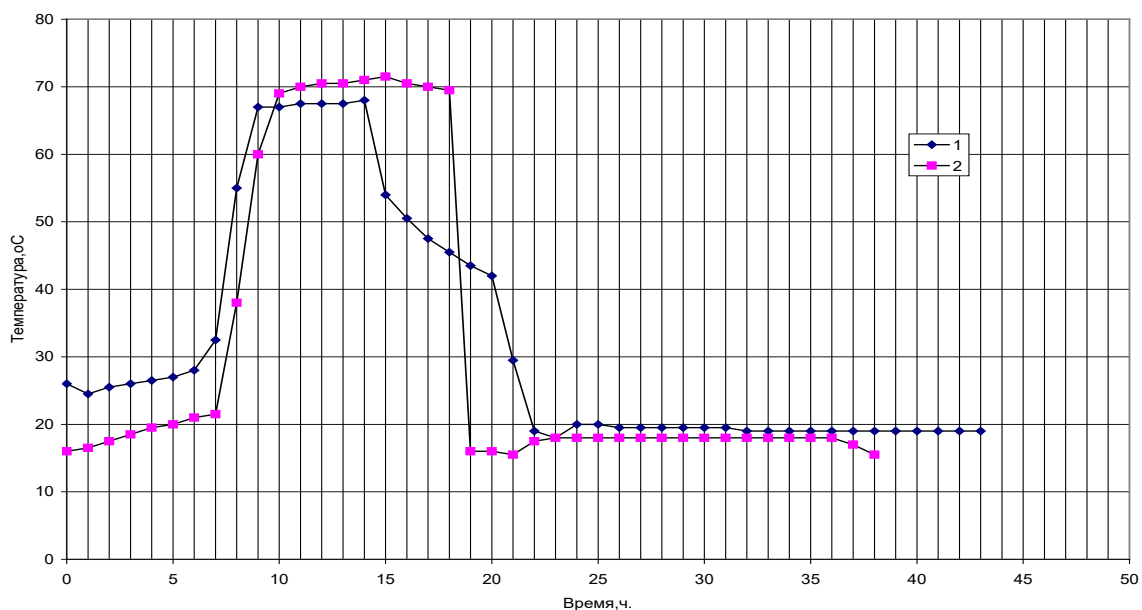


Рис. 7. Температурный режим тепловлажностной обработки в пропарочной камере №8 до и после утепления стенок камеры 1 – до утепления,  $t_{нар.возд.} = 17-19^{\circ}\text{C}/13^{\circ}\text{C}$ ; 2 – после утепления,  $t_{нар.возд.} = 10-12^{\circ}\text{C}/1^{\circ}\text{C}$

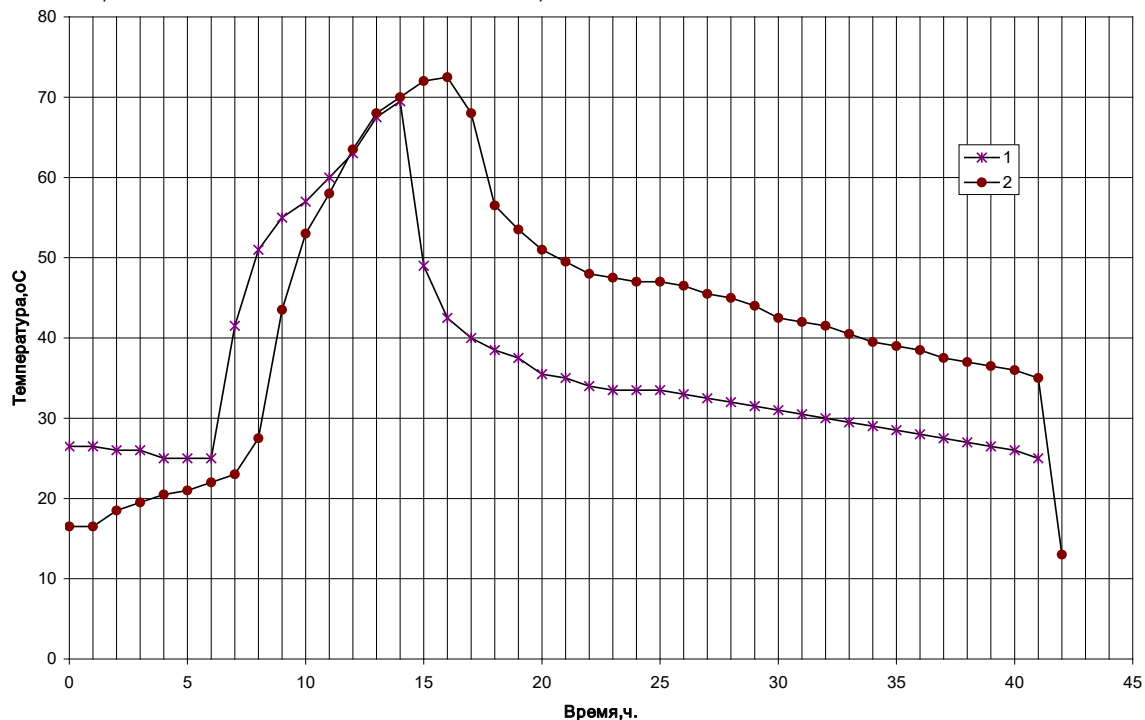


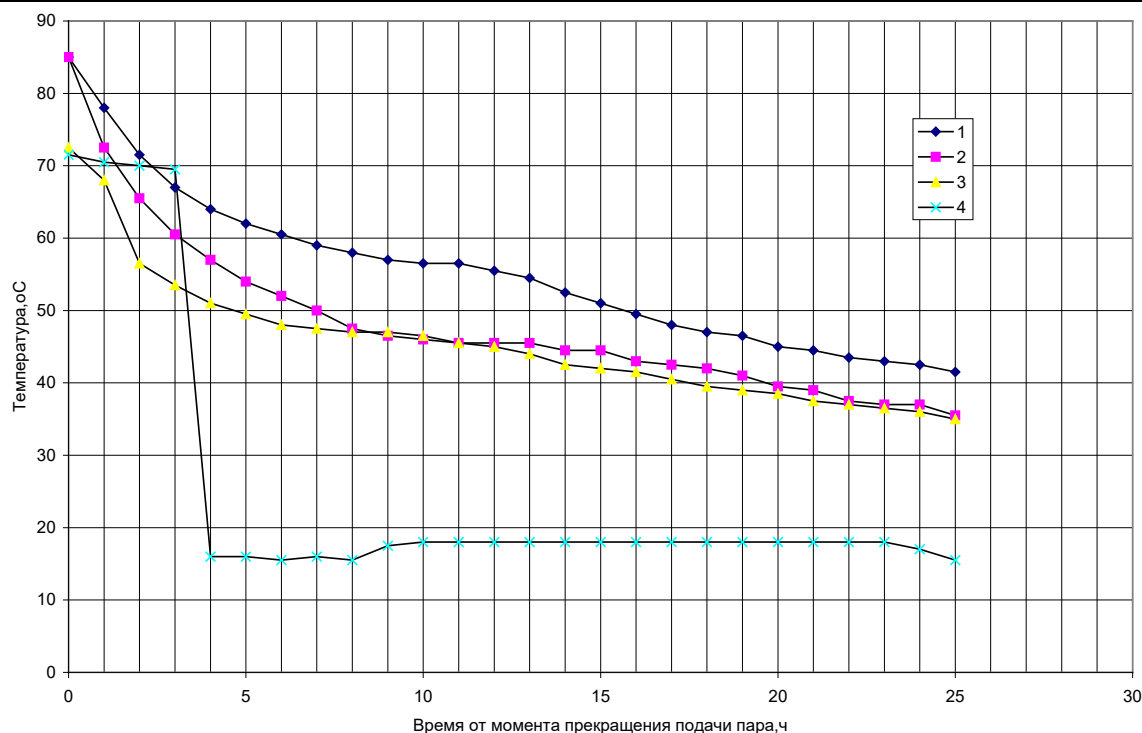
Рис. 8. Температурный режим тепловлажностной обработки в пропарочной камере № 11 до и после утепления стенок камеры 1 – до утепления,  $t_{нар.возд.} = 17-19^{\circ}\text{C}/13^{\circ}\text{C}$ ; 2 – после утепления,  $t_{нар.возд.} = 10-12^{\circ}\text{C}/1^{\circ}\text{C}$

открыванием крышки составила  $41^{\circ}\text{C}$ , а относительная прочность бетона после термообработки – 97,6 % от марочной, в то время, как при  $t_{нар.возд.} = 8-11/3-4^{\circ}\text{C}$  и длительности термосного охлаждения 33 часа –  $31^{\circ}\text{C}$  и 71,6 % от марочной, соответственно.

На рис. 6 дано сравнение температурных режимов в утепленных камерах №№ 11 и 8 при одинаковой температуре наружного воздуха  $t_{нар.возд.} = 10-12/1^{\circ}\text{C}$ , причем, изделия в камере № 11 после изотермического прогрева подвергали термосному охлаждению в течение 25 часов, а в камере № 8 – термообработка заканчивалась через 3 часа охлаждения. Из представленных данных видно, что до момента прекращения подачи пара нет существенных отличий в изменении температуры в обеих камерах, кроме более резкого ее подъема в камере № 8. Однако за счет длительного термосного охлаждения в

камере № 11 обеспечена более высокая относительная прочность бетона – 94,3 % против 88 % от марочной.

На рис. 7 и 8 и в таблицах 2 и 3 представлены сравнительные данные по температурным режимам в камерах №№ 8 и 11 до и после утепления, а на рис. 9 – данные по изменению температуры в утепленных камерах №№ 4, 8, 11 в период охлаждения. Как видно из рис. 7, характер и значения температур в камере № 8 при различной температуре наружного воздуха близки между собой. Учитывая, что значения температуры наружного воздуха различались почти в 2 раза, это свидетельствует о надежности выполненного утепления камер, благодаря чему обеспечены почти одинаковые значения относительной прочности бетона после термообработки.



**Рис. 9.** Снижение температуры в утепленных пропарочных камерах №4, 11, 8 после прекращения подачи пара при различной температуре наружного воздуха

1 – камера № 4,  $t_{нар.возд.} = 18-20^{\circ}\text{C}/10^{\circ}\text{C}$ ; 2 – камера № 4,  $t_{нар.возд.} = 8-11^{\circ}\text{C}/3-4^{\circ}\text{C}$ ; 3 – камера № 11,  $t_{нар.возд.} = 10-12^{\circ}\text{C}/1^{\circ}\text{C}$ ; 4 – камера № 8,  $t_{нар.возд.} = 10-12^{\circ}\text{C}/1^{\circ}\text{C}$

На рис. 8 приведено сравнение температурных режимов с термосным охлаждением в течение 25 часов в камере № 11 до и после утепления при различной температуре наружного воздуха. Представленные данные наглядно иллюстрируют эффект от утепления камеры. Особенно четко прослеживается на представленных графиках этот эффект на участке термосного охлаждения: снижение температуры через 1 час после прекращения подачи пара в утепленной камере составило всего лишь  $4,5^{\circ}\text{C}$  или  $6,2\%$  при  $t_{нар.возд.} = 10-12/1^{\circ}\text{C}$ , в то время, как в этой же камере до утепления за такой же промежуток времени при температуре наружного воздуха, почти в 2 раза высшей, снижение температуры составляло  $20,5^{\circ}\text{C}$  или  $29,5\%$ . Через 2 часа снижение температуры в этой камере до и после утепления составило соответственно  $27^{\circ}\text{C}$  ( $38,8\%$ ) и  $16^{\circ}\text{C}$  ( $22,1\%$ ), а к моменту открытия крышки камеры через 25 часов после прекращения подачи пара температура в неутепленной камере составляла  $25^{\circ}\text{C}$ , а после утепления –  $35^{\circ}\text{C}$ . Благодаря снижению теплопотерь за счет утепления камеры и сохранению более высокой температуры твердения бетона, при меньшей температуре наружного воздуха  $t_{нар.возд.} = 10-12/1^{\circ}\text{C}$  относительная прочность бетона после термообработки составила  $94,3\%$  от марочной, в то время, как до утепления камеры даже при более высокой температуре наружного воздуха  $t_{нар.возд.} = 17-19/13^{\circ}\text{C}$  относительная прочность бетона составила только  $72\%$  от марочной.

На рис. 9 представлены данные по снижению температуры в утепленных камерах №4, 8, 11 в период охлаждения после прекращения подачи пара в зависимости от температуры наружного воздуха. Из представленных данных видно, что в диапазоне исследуемых температур наружного воздуха  $t_{нар.возд.} = 8-11/3-4^{\circ}\text{C} \dots 18-20/10^{\circ}\text{C}$  не наблюдалось существенной разницы в температурах камер (она находится в пределах  $6,5-10^{\circ}\text{C}$ ), что свидетельствует о надежной теплозащите этих камер. При этом была обеспечена относительная прочность бетона: в камере № 4 –  $97,6\%$ , № 8 –  $88\%$ , № 11 –  $94,3\%$ .

В таблицах 2 и 3 представлены сравнительные данные, полученные в результате обработки данных температурного мониторинга режимов тепловлажностной обработки в шести пропарочных каме-

рах на полигонах завода. Анализ этих данных позволяет сделать вывод о том, что в результате выполненного утепления камер было достигнуто заметное снижение теплопотерь при тепловлажностной обработке изделий, что обеспечило повышение прочности бетона после термообработки. Это свидетельствует об эффективности принятого варианта утепления камер с использованием арболитовых пустотных блоков, обладающих, наряду с хорошими теплозащитными свойствами, высокой аккумулирующей способностью, т.е. способностью длительное время удерживать тепло. Немаловажна и экономичность принятого решения, поскольку арболитовые блоки, использованные для утепления камер, были изготовлены на заводе собственными силами с использованием отходов деревообработки.

В заключение следует отметить важное достоинство использованных для температурного мониторинга датчиков – измерителей-регистраторов DS 1921, обеспечивающих удобную недорогую беспроводную систему оценки, своеобразного «аудита» температурных режимов в пропарочных камерах и выдачи информации с использованием компьютерной техники. Эти датчики в сочетании с устройствами регулирования подачи пара позволяют обеспечить полную автоматизацию контроля и управления всем процессом тепловлажностной обработки железобетонных изделий и конструкций.

#### Заключение:

1. Проведено исследование режимов тепловлажностной обработки изделий и конструкций в ямных пропарочных камерах на полигонах завода с применением измерителей-регистраторов DS 1921 системы температурного мониторинга «Термохрон».
2. На основании полученных данных была установлена необходимость утепления ограждающих конструкций отдельных камер с целью снижения теплопотерь при термообработке изделий и конструкций.
3. Выполнено утепление ограждающих конструкций камер путем устройства утепляющего слоя в виде кладки из арболитовых пустотных мелкоштучных блоков, изготовленных на заводе.
4. Анализ результатов температурного мониторинга режимов термообработки в пропарочных камерах после их утепления, про-

веденный совместно с анализом результатов прочностных испытаний бетона, подтвердил эффективность выполненного утепления, обеспечившего снижение теплопотерь в камерах и повысить прочность бетона после термообработки.

Экспериментальная часть выполнена при участии сотрудников технологического отдела завода Е.В.Римашевской и Г.М.Бибука (подготовка и программирование измерителей-регистраторов, считывание информации) и И.И.Тулупова (обработка и анализ данных).

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Коротков С.Н. Методические основы выявления резервов и планирования экономии энергоресурсов на предприятиях сборного железобетона / С.Н.Коротков // Всесоюзный научно-

практический семинар по повышению эффективности использования топливно-энергетических ресурсов при производстве сборных железобетонных конструкций и изделий: Тезисы докл.- Ленинград, 1984. - С. 48-52.

2. Малинина Л.А. Снижение энергетических затрат при производстве сборного железобетона за счет рационального выбора цементов, назначения эффективных режимов термообработки бетона и учета экзотермии/Л.А.Малинина//Всесоюзный научно-практический семинар по повышению эффективности использования топливно-энергетических ресурсов при производстве сборных железобетонных конструкций и изделий: Тезисы докл.- Ленинград, 1984. - С. 53-58.

3. Что такое термохрон? [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.elin.ru/Thermochron/?Topic=whatis>.

Материал поступил в редакцию 10.02.09

#### **BIBIK M.S. The temperature monitoring of process is warm a moisture of processing in chambers firing ground such as and modernization of chambers with the purpose of decrease warmly of losses**

In clause the results of temperature monitoring of process warmly a moisture of processing in steaming chambers firing ground such as in ОАО "A Factory of modular ferro-concrete №1" with application measuring instrument - registrars DS 1921 systems "Termochron" are submitted. The data of the carried out monitoring were used at acceptance of the constructive decisions on утеплению separate steaming of chambers with the purpose of decrease warmly of losses. The comparative data of monitoring of a number of chambers before and after утепления are given which allow to make a conclusion about efficiency of the accepted decisions.

УДК 666.71/.72

**Никитин В.И., Бацкель-Бжозовска Б.**

### **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ МОРОЗОСТОЙКОСТИ БЕТОНА НА ОСНОВЕ КРИТИЧЕСКОГО УРОВНЯ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ**

**Введение.** Морозостойкость стеновых материалов, эксплуатируемых в неблагоприятных климатических условиях, является одним из основных показателей их долговечности. Выявлению механизмов деградации увлажненных строительных материалов при циклическом замораживании и оттаивании, разработке методов и критериев оценки их морозостойкости посвящено большое количество работ. Однако анализ результатов этих работ часто приводит к неоднозначным и даже противоположным выводам. При такой ситуации в странах объединенной Европы до сих пор не завершены работы по выбору общепринятой методики исследования морозостойкости бетонов и других строительных материалов, которая могла бы быть рекомендована европейскими нормами в качестве обязательной.

По мнению авторов данной работы, в настоящее время на основе известной концепции накопления повреждений и многочисленных данных, представленных в литературе, можно предложить довольно простую методику оценки морозостойкости бетона. Согласно этой методике, процесс деградации образцов материала при циклическом замораживании и оттаивании отслеживается вплоть до полного разрушения образцов и определяется критический уровень накопления повреждений, который далее используется в качестве количественной оценки морозостойкости бетона.

**1. Предварительный анализ экспериментальных данных.** В результате анализа известных литературных данных и результатов собственных исследований, отражающих изменения выбранных показателей свойств или признаков деструкции образцов капиллярно-пористых строительных материалов (таких как прочность, пористость, утрата массы и др.) при циклическом замораживании и оттаивании до их полного разрушения, выяснилось, что наблюдаемый процесс деструкции образцов материалов характеризуется двумя основными этапами. Первый этап отличается от второго заметно меньшей скоростью деструкции образцов испытываемого материала и, как правило, большей продолжительностью. Причем такой двух-

этапный процесс наблюдается для образцов различных материалов, отличающихся размерами и формой, при объемном и одностороннем замораживании в воздушной и водной среде при различном содержании водорастворимых солей.

Для иллюстрации сказанного на рисунке 1 приведены данные, взятые из работы [1], которые показывают кинетику утраты массы образцов бетона кремнистой пыли и без нее при циклическом замораживании и оттаивании. Из этого рисунка видно, что образец бетона без добавки пыли кремния даже после 230 циклов замораживания и оттаивания не достиг полного разрушения (кривая А), а образцы бетона, содержащие эту добавку, полностью разрушились к сто тридцатому циклу (кривые В и С). При этом продолжительность первого этапа накопления повреждений превысила продолжительность второго более быстрого этапа накопления повреждений примерно в 2,5 раза для случая В и почти в 5 раз для случая С. В работе [1] приведено большое количество графической информации об утрате массы образцами бетона в результате поверхностного шелушения при одностороннем замораживании и оттаивании под слоем чистой воды и 3% водном растворе NaCl. Образцы бетона готовились с использованием различных воздухововлекающих минеральных добавок. При испытаниях этих образцов до полного разрушения зависимость накапливаемой утраты массы от числа циклов одностороннего замораживания и оттаивания во всех случаях имела вид кривых В и С, показанных на рис. 1.

Другой пример, заимствованный из работы [2] и приведенный на рисунке 2, показывает изменение (утрату) прочности при сжатии в процессе стандартного объемного замораживания и оттаивания четырех серий образцов цементного бетона, предназначенного для верхнего слоя дорожного покрытия, размером 0,1x0,1x0,1 м. Образцы одной серии отличались от образцов других серий только степенью уплотнения бетонной смеси. Как видно из рисунка 2, после 225 циклов замораживания и оттаивания скорость утраты прочности резко возрастает и по достижении 300 циклов образцы III и IV серий

*Никитин Вадим Иванович, доктор технических наук, профессор Политехнической Белостокской, Польша.*

*Бацкель-Бжозовска Беата, кандидат технических наук Политехнической Белостокской, Польша.*